

Statisztikai tanulás az idegrendszerben, 2015.

Bevezetés

Bányai Mihály

banyai.mihaly@wigner.mta.hu

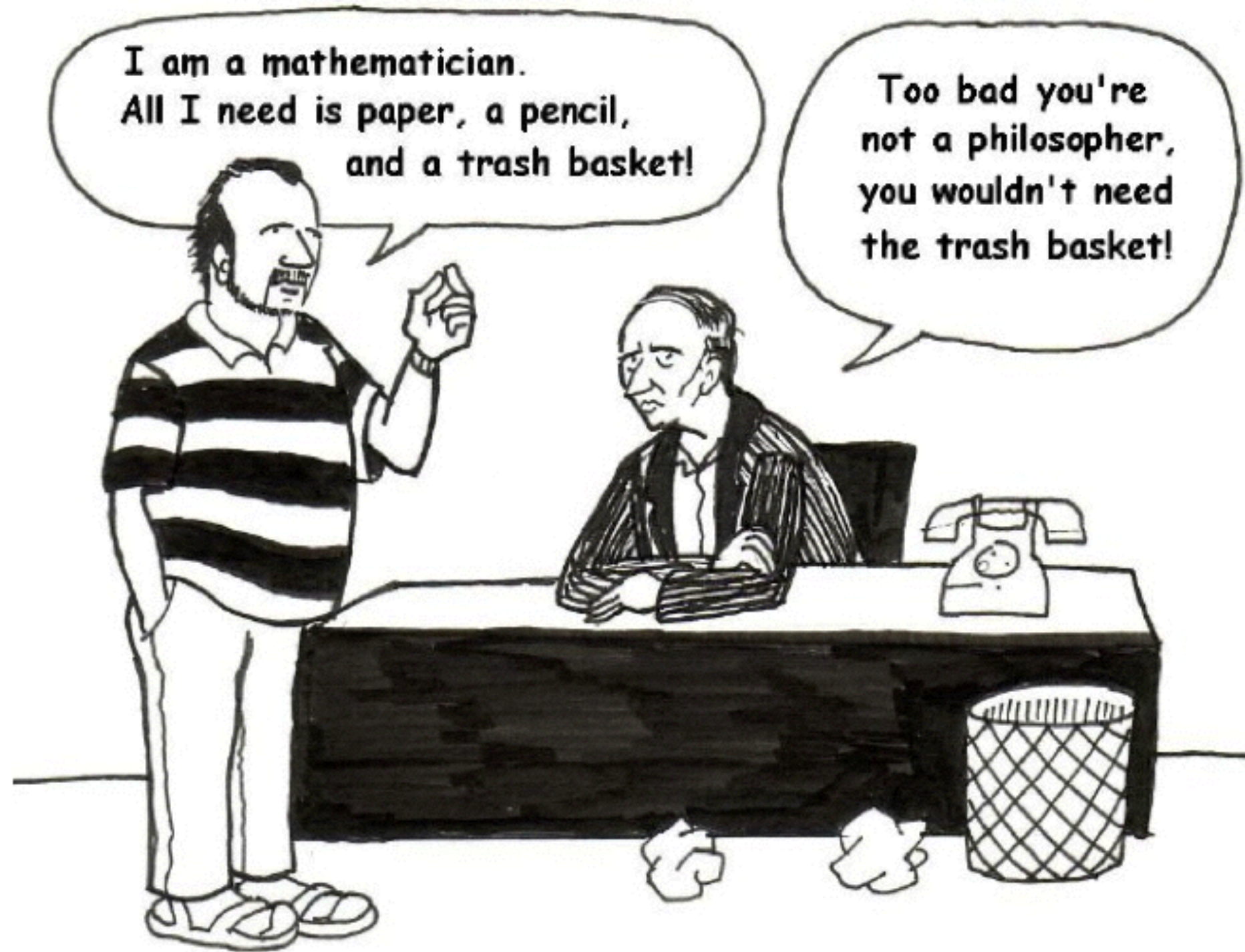
<http://golab.wigner.mta.hu/people/mihaly-banyai/>

A kurzusról

- Időpont - doodle
- Előadók - négyen
- Házi feladatok - nem kötelező, de plusz egy jegyet érhet vizsgán
- Konzultáció - az utolsó héten igény szerint
- Vizsga - szóban

Elméleti idegtudomány

- Természettudományos szemszögből közelítünk az agyhoz. Olyan elméletet szeretnénk, ami
 - prediktív
 - alapelvekkel magyarázó
 - egységesítő
- Az agy funkcióinak matematikai modelljeit keressük



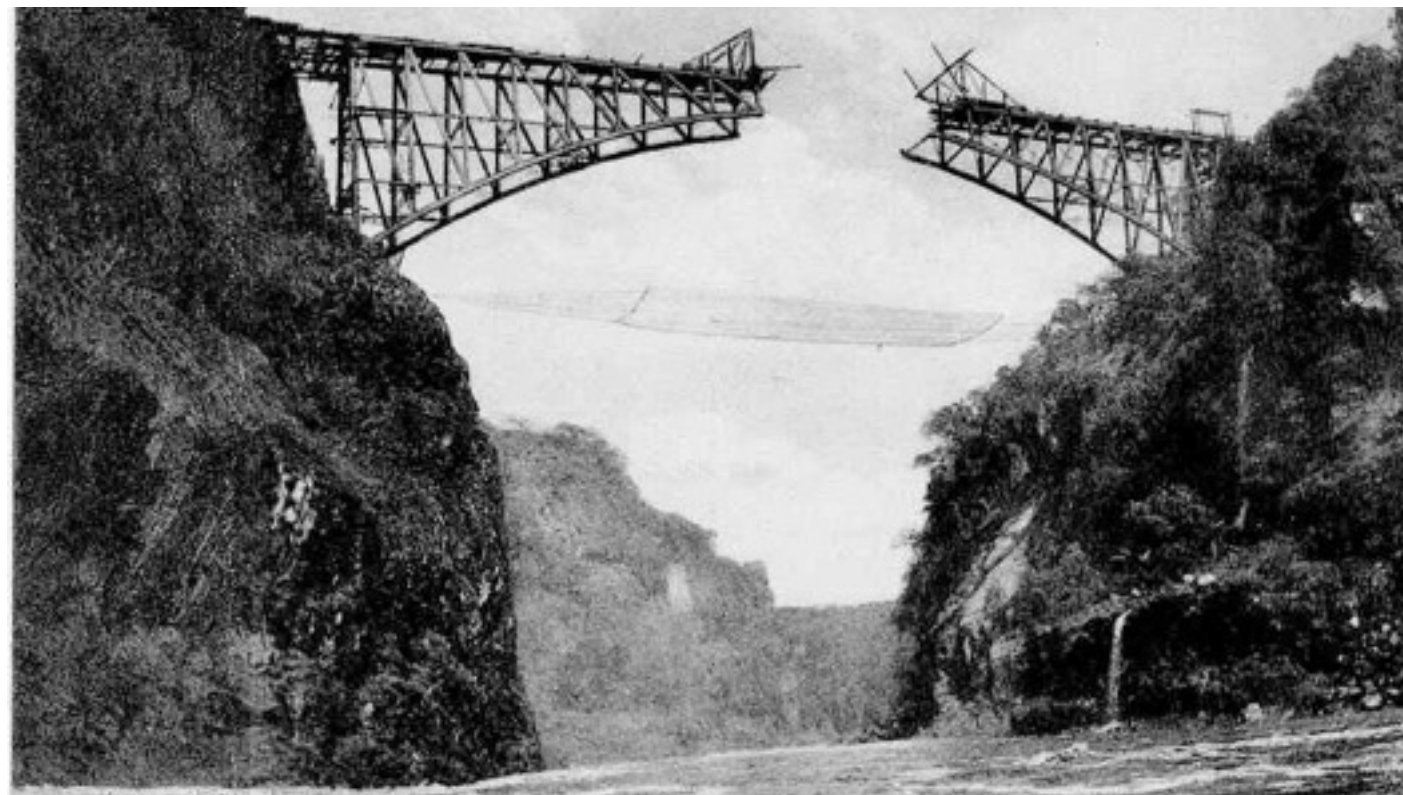
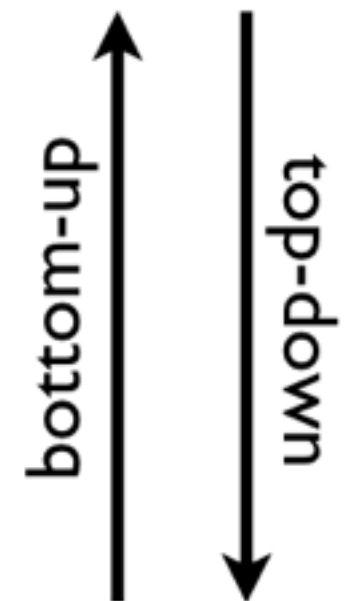
– Eugene M. Izhikevich: *Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting*

Mit szeretnénk megjósolni a modellekkel?

- Azaz milyen megfigyeléseket akarunk megmagyarázni?
- Egyrészt természetesen biofizikai mennyiségeket
- De makroszkopikus megfigyeléseket is
 - Hogyan viselkednek az élőlények különböző helyzetekben?
 - Hogyan reagálnak a környezetük bizonyos változásaira?
 - Hogyan oldanak meg különböző feladatokat?
- Ezek szintén az agyra jellemzőek, és ugyanolyan érvényes megfigyelések, mint a mikroszkopikus mérések

Absztrakciós szintek

- Komputáció - a feladat specifikációja, az idegrendszeri funkció leírása bemenet-kimenet leképezésként
- Algoritmus - a feladat megoldásának, azaz a leképezés megvalósításának teljes matematikai leírása
- Implementáció - az algoritmus fizikai realizációja, idegtudomány esetében idegsejtekkel, az ehhez szükséges struktúrák és dinamikai tulajdonságok leírása
- David Marr



Normatív megközelítés

- közvetlenül a prediktálandó mennyiségekhez kapcsolt funkció leírásával kezdjük a modellezést
 - milyennek kellene lennie egy olyan rendszernek, ami ellátja a kérdéses funkciót?
- a modell és az algoritmusok meghatározása után keressük azokat a biofizikai mennyiségeket és folyamatokat, amelyek ezeket megvalósíthatják
- Horace Barlow: “A wing would be a most mystifying structure if one did not know that birds flew.”



Mit csinál az agy?

- Feldolgozza az érzékszervi bemeneteket - percepció
- Döntéseket hoz különböző célok elérése érdekében
- Vezérli a mozgást
- Információkat tárol, amelyek mindezek hatékonyabb elvégzéséhez szükségesek
- Tehát modellt épít a megfigyelések alapján, amit aztán felhasználhat predikcióra
 - hasonlóan, mint a kutatók



Komputáció jelentése az agyban

- Az agyat formális rendszerként modellezhetjük, amely a szenzorokon keresztül érkező megfigyeléseken mint bemeneteken olyan függvényeket számol ki, amelyek értéke döntéseknek felel meg, ehhez pedig köztes lépésként modellt épít a környezetéről.
- A számításelmélet leírja, hogy különböző formális rendszerek milyen függvényosztályokat milyen költséggel tudnak kiszámítani
- Az univerzális Turing-gépek minden kiszámítható függvényt képesek kiszámítani
- Agy-számítógép párhuzam: az agyat Turing-gépként modellezzük
 - percepcióra biztosan jól működik a párhuzam
 - a percepció elég nagy része az agyi funkcionalitásnak, az objektumfelismeréstől a nyelvi feldolgozáson keresztül az összetett fogalmak tanulásáig sokmindent lefed

Mi a reprezentáció?

- A környezetet leíró változók leképezése az agy mint formális rendszer által megvalósított világmodell változóira
- A jó reprezentáció tömöríti a megfigyeléseket
 - nem emlékezhetünk minden szituáció minden részletére egész életünkben - egyszer megharapott egy fekete kutya, egyszer meg egy barna
 - túl nagy mennyiségű adat lenne
 - nem tudnánk általánosítani az ismereteinket új megfigyelésekre - nem tudnám, mi lesz, ha jön egy fehér kutya

Percepció mint következtetés

- mik a közvetlenül megfigyelhető mennyiségek az agy számára?
 - a szenzorsejtek aktivációja (csapok és pálcikák, szőrsejtek, ...)
- mik az érdekes mennyiségek?
 - összetett mennyiségek bonyolult kombinációi, pl hogy van-e a környezetünkben egy oroszlán
- generatív modellek írják le, hogy a közvetlenül nem megfigyelt (látens, rejtett) mennyiségek milyen kapcsolatban vannak a megfigyelttel
 - Ha tudjuk a modellt, tudunk mesterséges megfigyeléseket generálni (tudjuk, hogy kell lerajzolni egy oroszlánt)
 - Ebben a modellben kell következtetni a megfigyelt változókból a látensekre (egy kép pixeleiből megmondani, hogy oroszlán-e)
- Régre visszanyúló kezdetek: Ibn Al-Haytham, Hermann Helmholtz, Bertrand Russell, Ludwig Wittgenstein, ...

Mi a tanulás?

- A tanulás a generatív modellek felépítése a megfigyelések alapján
- Meg kell találnunk a megfigyeléseket jellemző szabályosságokat, hogy a modellünk jól tömörítsen
- pl. az objektumok azonosságát sok tulajdonság nem befolyásolja, mint pozíció, látószög, megvilágítás, ...

Világmodell vagy szerszámoszláda?

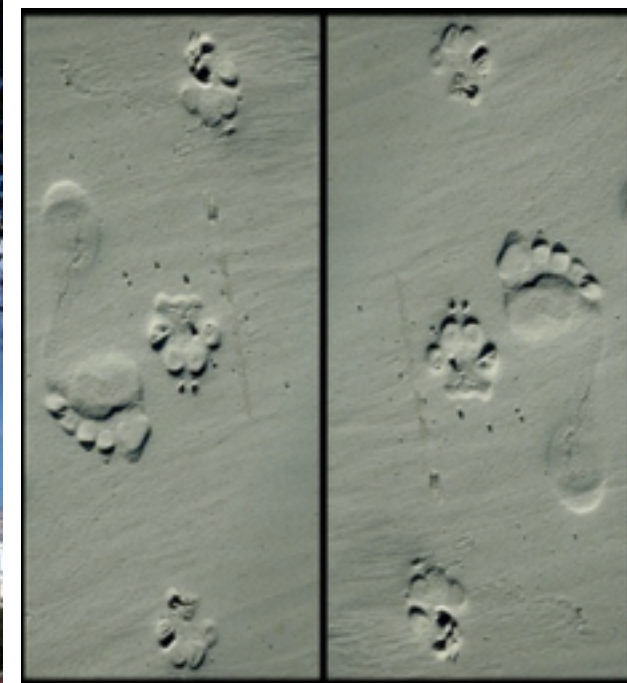
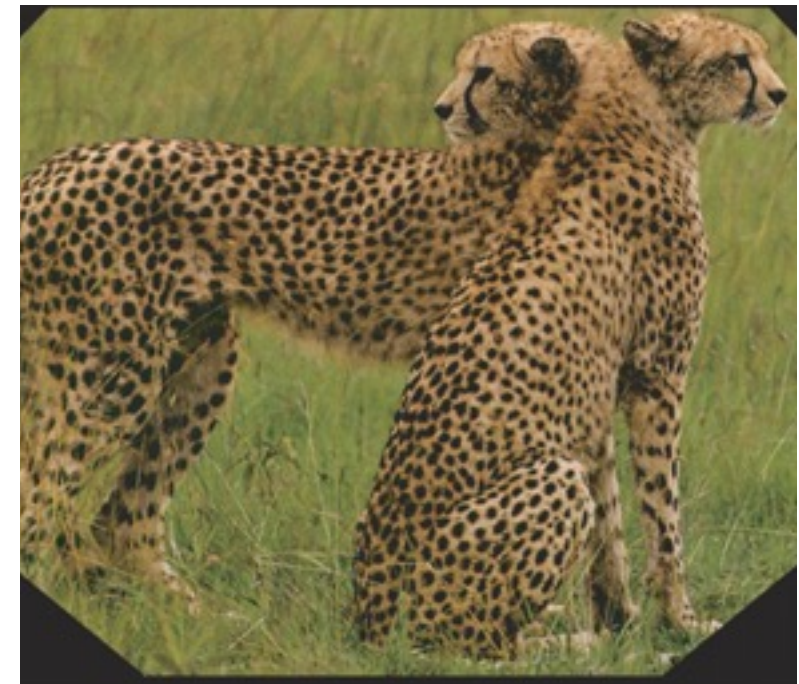
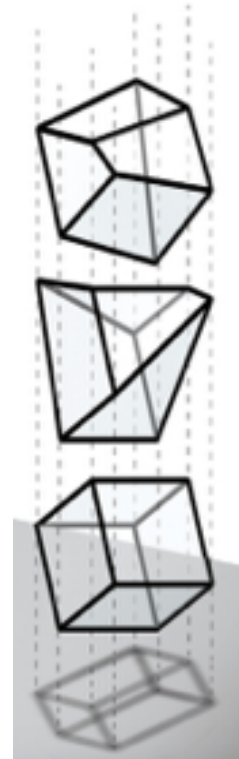
- Egy lehetőség, hogy az agy különböző feladatokra specializált rendszerek összessége
 - minden ilyen alrendszer az adott feladathoz szükséges információt tömörítene részvilágmodellekbe
- A másik alternatíva, hogy az agy univerzális belső modellt épít a világról, és ugyanazt a tudásanyagot használja fel minden feladat megoldásához

Mesterséges intelligencia és idegtudomány

- Közös gyökerek a kibernetikai társaságban
 - Warren McCulloch, Walter Pitts, Norbert Wiener és Neumann János
 - Logikai számítások idegsejtszerű elemekből
- Minden problémának az egyik területen van egy párhuzamos problémája a másikon
 - MI: hogy lehet legjobban megcsinálni?
 - IT: hogyan csinálják az élőlények?
- Kölcsönös inspirációt nyújtanak egymásnak, például
 - IT -> MI: neurális hálózatokra épülő módszerek a gépi tanulásban
 - MI -> IT: valószínűségi modellek megfigyelésekre illesztése mint idegrendszeri modell

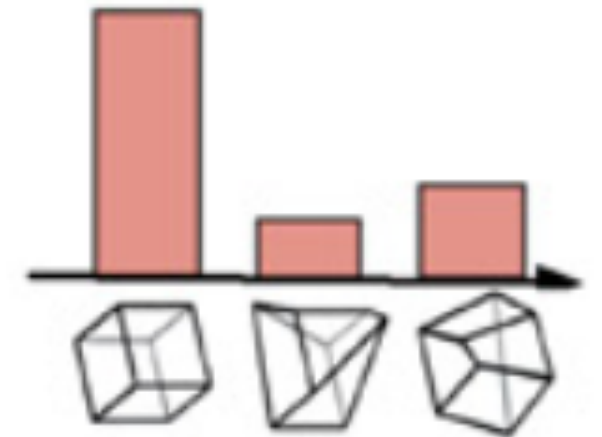
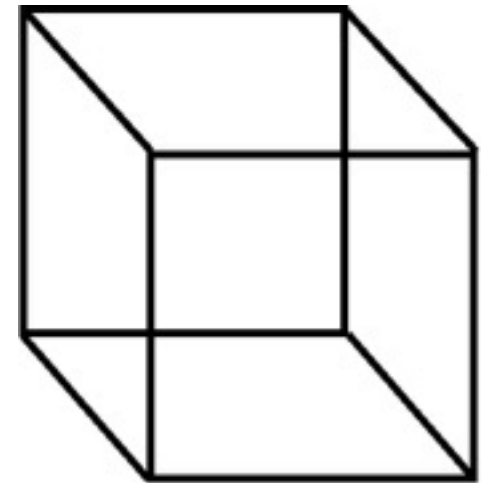
A megfigyelések többértelműsége

- A környezetnek meghatározó tulajdonsága, hogy nem egyértelmű a szenzoros bemenetek értelmezése
 - ez nem a kivétel, hanem a szabály
- A szenzorok megbízhatatlansága is bevezet bizonytalanságot
- De a bizonytalanság elsődleges forrása az információhiány



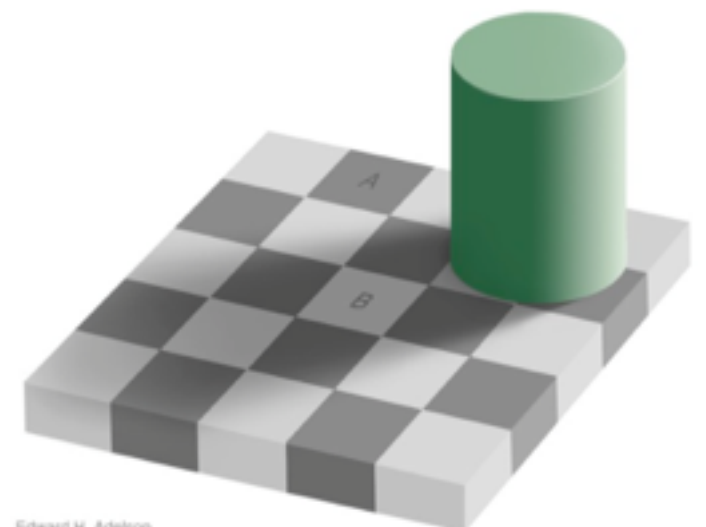
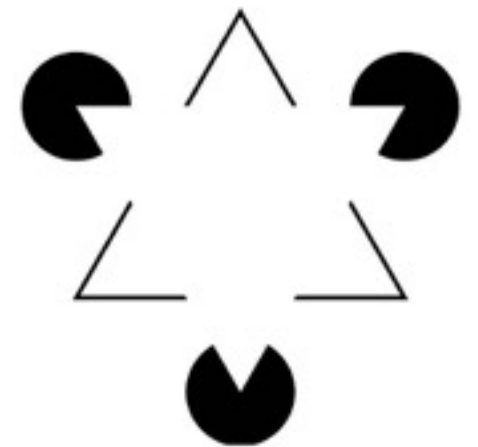
Számolás bizonytalansággal

- Nem elég egy átlagérték és egy becslés arra, hogy mennyire vagyunk biztosak benne
 - az átlagnak vagy más pontbecslésnek gyakran nincs értelme
 - az optimális döntéshez szükség van arra, hogy minden lehetséges értékhez megállapítsuk, hogy mennyire tartjuk azt hihetőnek a többihez képest
- A valószínűségszámítás konzisztens keretrendszer biztosít a bizonytalan tudás kezelésére
- Edwin Jaynes, Pólya György



A tanult tudás és a megfigyelés integrációja

- Az aktuális megfigyelések értelmezéséhez fel kell használnunk a világ szabályosságairól tanult ismereteinket
 - hány kereke van az autónak?
- Az illúziókon tetten érhető a jelenség
- Gestalt-elvek: a formalátás szabályait fektetik le a térbeli és időbeli folytonossági tulajdonságok alapján
- Valószínűségszámítási keretrendszerben egyértelműen kezelhető



Edward H. Adelson

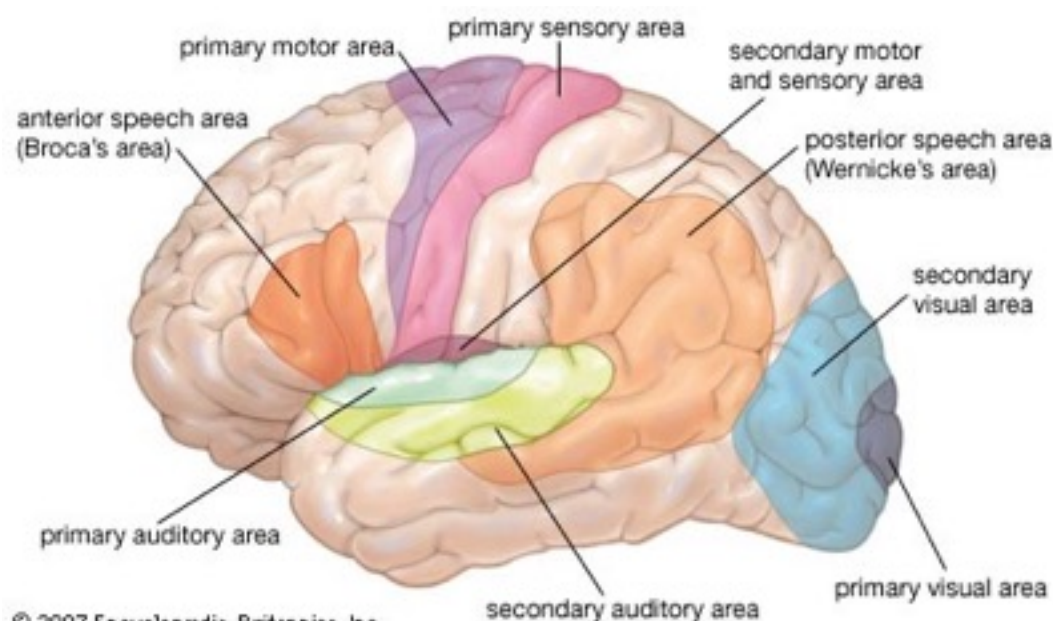
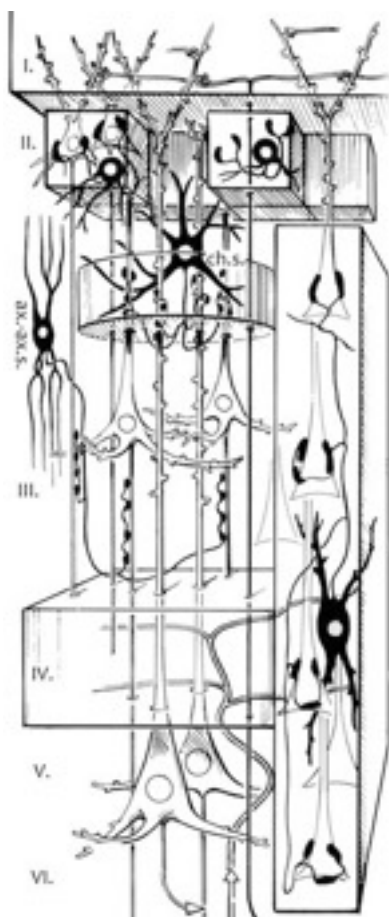
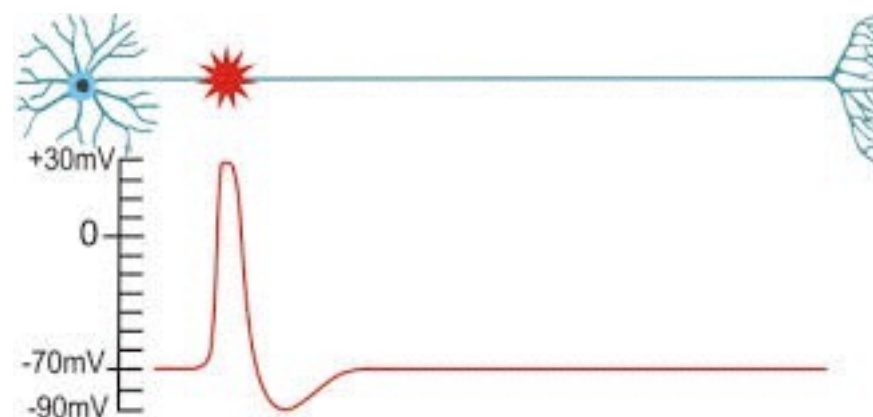
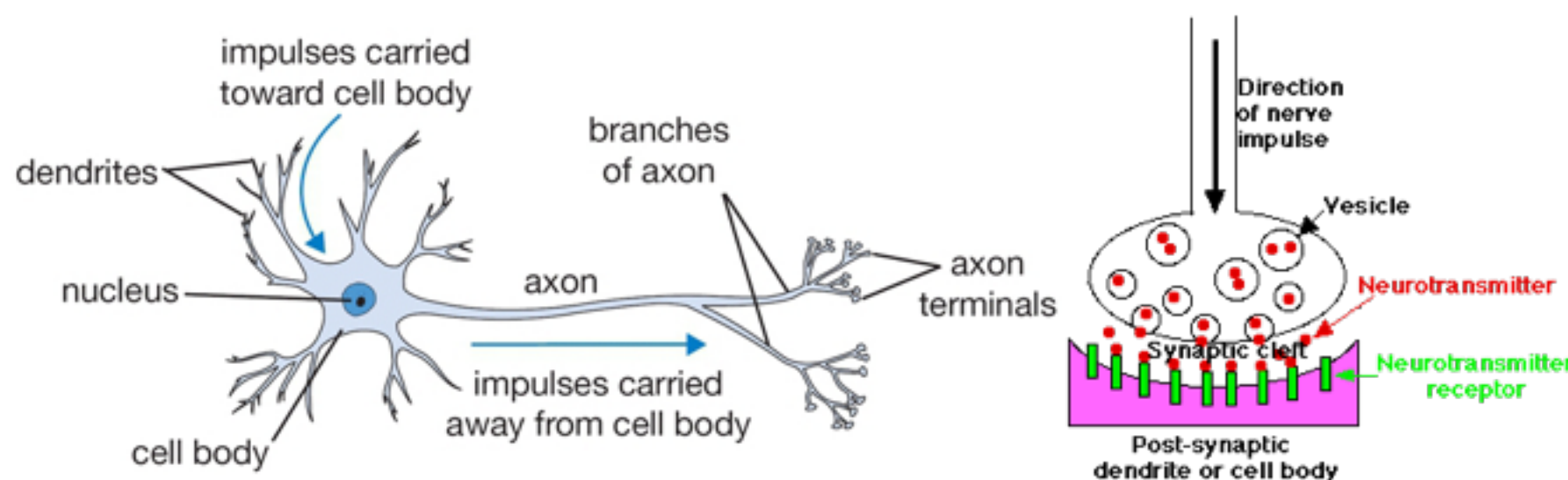
Kapcsolódás a biológiához

- Kell ez nekünk?
 - Ha a viselkedés teljes matematikai leírását megadjuk, elvileg nem feltétlenül
 - De persze nem tudjuk ezt megadni
 - Nagyon segíti az agyi számítások jó matematikai modelljeinek keresését az, hogy melyikkel tudjuk jól prediktálni a biofizikai folyamatokat
 - Ha a betegségekről akarunk mondani valamit, akkor elengedhetetlen

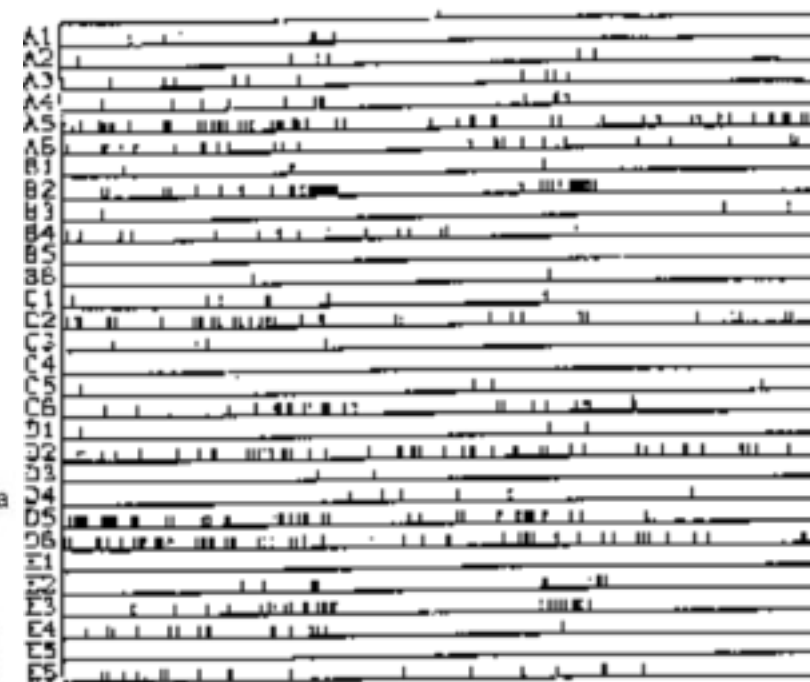
“After the great positive contribution of Turing-cum-Pitts-and-McCulloch is assimilated, the situation is rather worse than better than before. Indeed these authors have demonstrated in absolute and hopeless generality that anything and everything ... can be done by an appropriate mechanism, and specifically by a neural mechanism—and that even one, definite mechanism can be ‘universal.’ Inverting the argument: Nothing that we may know or learn about the functioning of the organism can give, without ‘microscopic,’ cytological work any clues regarding the further details of the neural mechanism.”

Hogyan épül föl az agy?

- Idegsejtek és szinpaszisok
- membránpotenciál és akciós potenciálok
- Funkcionálisan specializált agyterületek
- Canonical microcircuit?



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.



A neurális kód



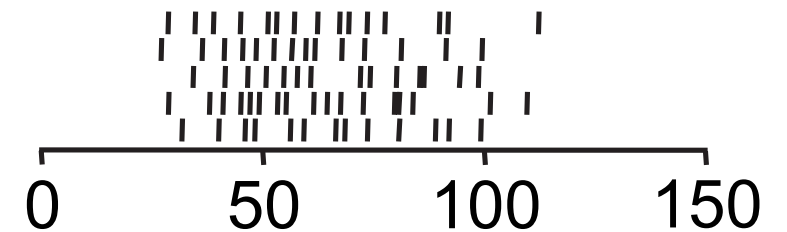
- Milyen biofizikai mennyiségeket feleltethetünk meg a mentális modell változóinak?
- Gyorsan változó mennyiségek - pl. membránpotenciál
- Hosszasan tárolandó mennyiségek - pl. szinaptikus erősségek

Mi az, amit mérni lehet?

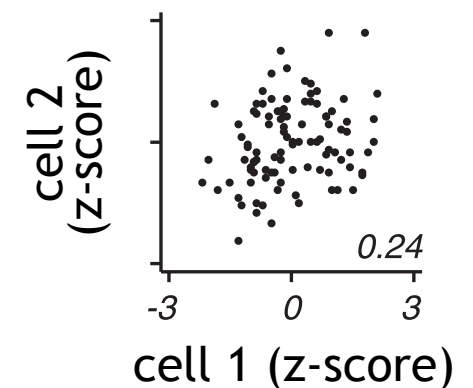
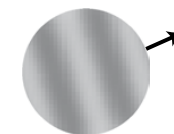
- Szeretnénk megmérni, hogy egy macska vizuális kérgében a neuronok membránpotenciálja hogy alakul egy adott kép nézése során. Mik lesznek a nehézségek?
- Sok sejtet nem tudunk megszúrni külön elektródával, extracelluláris elektróda kell (vagy calcium imaging)
 - Csak akciós potenciálokat láthatunk, membránpotenciált nem
 - Hogyan állapíthatjuk meg, hogy melyik neuronhoz tartoznak a kontaktpontokon mért akciós potenciálok?
- Hogy vesszük rá a macskát, hogy nézze a képet?
 - Rögzíteni kell - nem túl természetes környezet.
 - Rögzítve sem néz oda - lehet altatni, de akkor belőtt macska látását vizsgáljuk

Neurális válaszvariabilitás

- A neuronok ugyanazon stimulusra adott válasza variabilitást mutat
- Több neuron válaszáinak korrelációja is változik
- Probabilisztikus modellekkel ezt a variabilitást a környezetet leíró mennyiségek feletti valószínűségi eloszlások reprezentációjához köthetjük



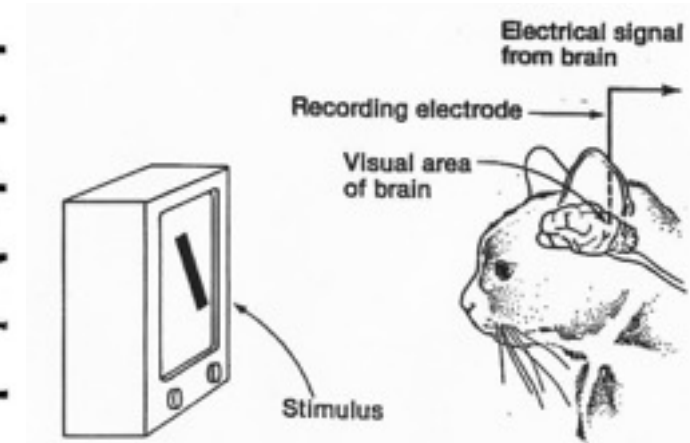
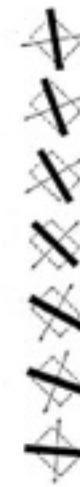
Gur & Snodderly, Cereb Cortex 2006



Kohn & Smith, J Neurosci 2005

Mi az, amit tényleg tudunk az agyról?

- Sok-sok anatómiai és fiziológiai adat
- Viselkedést prediktáló (pszichológiai, kognitív tudományi) modellek pl. tanulási problémák megoldására
- Egyes területen a neurális aktivitás korrelál az érzékszervi bemenet vagy a viselkedés bizonyos tulajdonságaival
- Két Nobel-díj
 - Hubel & Wiesel, 1981
 - vizuális információ reprezentációja az elsődleges látógéregben
 - Léteznek prediktív valószínűségi modellek, de csak a legelső lépésre
 - O'Keefe & the Mosers, 2014
 - térbeli helyzet reprezentációja a hippocampusban
 - az elméleti áttörés még várat magára



Házi feladat

- Keress egy érdekes illúziót, és határozd meg, hogy mik a lehetséges értelmezései a szenzorikus bemenetnek (kép, hang, szag, tapintás, stb.)
- Keress magyarázatot arra, hogy korábban tanult szabályosságok vagy az aktuális környezet (kontextus) hogyan befolyásolja azt, hogy mit érzékelünk